

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## **ZAVRŠNI RAD**

Martina Šegina

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ZAVRŠNI RAD**

**Voditelj rada:**

Doc.dr.sc. Suzana Jakovljević

Martina Šegina

Zagreb, 2015.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno služeći se znanjem stečenim tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i koristeći navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Suzani Jakovljević na stručnoj pomoći, savjetima, trudu i zalaganju.

Martina Šegina



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

|  |        |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |        |
| Datum  | Prilog |
| Klasa:   |        |
| Ur.broj:   |        |

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Martina Šegina**

Mat. Br.:0035181500

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Trošenje tribopara pločica i diska kočionog sustava bicikla**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Wear of tribo -pair pads and disc of brake system for a bicycle**

Opis zadatka:

Bicikl je cestovno vozilo s dva kotača koje se pogoni snagom mišića vozača. Njegova jednostavna konstrukcija (vozilo s dva kotača, ugrađeni jedan iza drugoga) i praktična svojstva (u suvremenoj izvedbi) – mala težina, lako održavanje i rukovanje – osigurali su mu široku upotrebu u svakodnevnom životu i sportu. Kočenje je namjerno (umjetno) povećanje tangencijalnih sila između kotača vozila i podloge, kojem je svrha usporenje ili zaustavljanje vozila. U toku procesa kočenja kinetička se energija bicikla i vozača pretvara u toplinu koja se radi osiguravanja funkcioniranja kočnica odvodi u okolinu. Uspješnost kočenja ocjenjuje se na osnovu usporenja vozila i puta kočenja vozila.

U radu je potrebno:

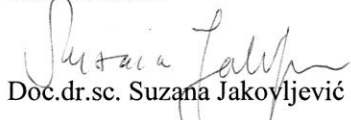
- 1) Definirati materijale od kojih se izrađuju kočione pločice i kočioni diskovi bicikla.
- 2) Analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kontaktu kočionih pločica i kočionih diskova bicikla.
- 3) Na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala izabranih kočionih pločica i kočionog diska.
- 4) Analizirati tragove trošenja i dati zaključak.

Zadatak zadan:  
25. studenog 2014.

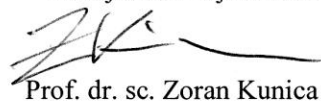
Rok predaje rada:  
**1. rok:** 26. veljače 2015.  
**2. rok:** 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 2., 3., i 4. ožujka 2015.  
**2. rok:** 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

  
Doc.dr.sc. Suzana Jakovljević

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Zoran Kunica

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| Popis slika .....  | 2  |
| Popis tablica .....  | 4  |
| Popis oznaka .....   | 5  |
| SAŽETAK .....  | 6  |
| 1. UVOD .....  | 7  |
| 2. RAZVOJ KOČNICA KROZ POVIJEST .....                            | 8  |
| 3. KOČENJE BIKIKLA.....  | 12 |
| 3.1. Kočnice na naplaticima kotača.....                          | 12 |
| 3.1.1. Kočnice sa kočionim kliještima .....                      | 13 |
| 3.1.2. Kočnice sa dvije posebno pričvršćene kočione ručice ..... | 14 |
| 3.2. Kočnice postavljene na glavini ili disk kočnice.....        | 15 |
| 3.2.1. Vrste disk kočnica.....                                   | 18 |
| 4. ISPITIVANJE KOČNICA .....                                     | 20 |
| 5. TRIBOLOŠKO TROŠENJE DISK KOČNICA .....                        | 22 |
| 5.1. Mehanizmi trošenja disk kočnica.....                        | 22 |
| 6. EKSPERIMENTALNI DIO .....                                     | 25 |
| 6.1. Kemijski sastav i mikrostruktura .....                      | 25 |
| 6.2. Ispitivanje tvrdoće.....                                    | 27 |
| 6.2.1. Vickersova metoda.....                                    | 27 |
| 6.2.2. Rockwellova metoda.....                                   | 28 |
| 6.3. Ispitivanje skenirajućim elektronskim mikroskopom .....     | 29 |
| 7. ZAKLJUČAK .....   | 36 |
| 8. LITERATURA .....  | 37 |

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Prvi bicikl [1].....  | 7  |
| Slika 2. Prva kočnica [2].....   | 8  |
| Slika 3. Kočnica na naplatku kotača [2] .....  | 9  |
| Slika 4. Brdski bicikl [2].....  | 9  |
| Slika 5. Hidrauličke kočnice [2] .....   | 10 |
| Slika 6. Primjerak iz prve serije disk kočnica [2] .....                                       | 11 |
| Slika 7. Kočnice koje djeluju oko jedne osovine [7] .....                                      | 13 |
| Slika 8. V-kočnice [7] .....   | 14 |
| Slika 9. Disk kočnica [7] .....  | 15 |
| Slika 10. Radijusi djelovanja [7] .....  | 17 |
| Slika 11. Dijelovi sustava hidrauličkih disk kočnica [10] .....                                | 18 |
| Slika 12. Dijelovi sustava mehaničkih disk kočnica [12] .....                                  | 19 |
| Slika 13. Dijelovi ispitivačkog stola [7] .....  | 20 |
| Slika 14. Trošenje pločica [12] .....  | 23 |
| Slika 15. Zamjena pločica [5] .....  | 24 |
| Slika 16. Površina pločice u poliranom stanju.....   | 26 |
| Slika 17. Mikrostruktura diska u nagriženom stanju, povećanje 1000X .....                      | 27 |
| Slika 18. Vickersova metoda [16] .....   | 28 |
| Slika 19. Izvori signala iz uzorka [18].....   | 30 |
| Slika 20. Površina diska snimljena na SEM-u .....  | 31 |
| Slika 21. Površina diska sa prikazanim nakupinama čestica .....                                | 31 |
| Slika 22. Površina pločice snimljena na SEM-u s prikazanim tragovima trošenja (spektar 1) .... | 32 |
| Slika 23. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 2) .....                                      | 33 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 24. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 3) ..... | 33 |
| Slika 25. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 4) ..... | 34 |
| Slika 26. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 5) ..... | 34 |

**Popis tablica**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Kemijski sastav uzorka diska.....       | 25 |
| Tablica 2. Rezultati mjerenja tvrdoće diska.....   | 28 |
| Tablica 3. Rezultati mjerenja tvrdoće pločice..... | 29 |



**Popis oznaka**

| OZNAKA | JEDINICA | OPIS                                       |
|--------|----------|--|
| $d_1$  | mm       | prva dijagonala kvadrata otiska prizme     |
| $d_2$  | mm       | druga dijagonala kvadrata otiska prizme    |
| $M_s$  | K        | temperatura početka stvaranja martenzita   |
| $M_f$  | K        | temperatura završetka stvaranja martenzita |

## SAŽETAK

Disk kočnice danas su nezaobilazan dio svake ozbiljnije biciklističke opreme. Zahvaljujući svojim prednostima mogu se pohvaliti statusom najboljih kočnica.

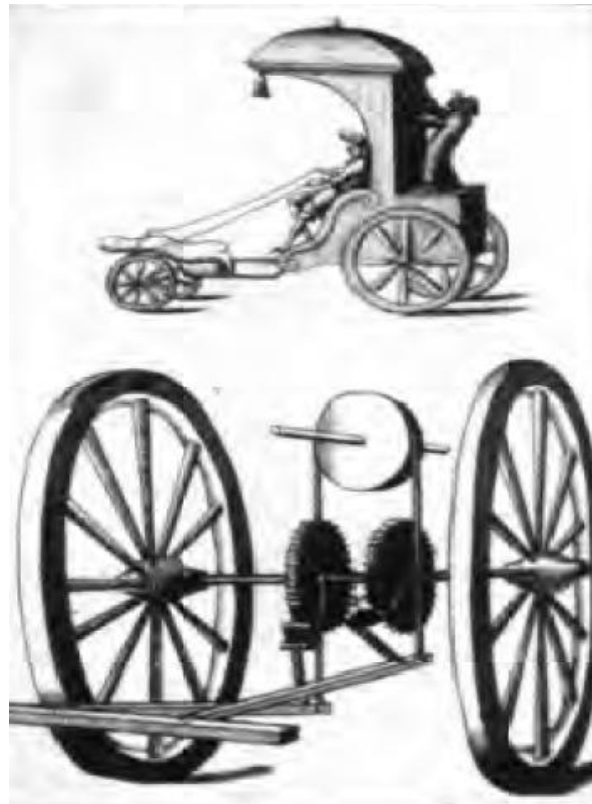
U uvodnom dijelu ovog završnog rada prikazan je povijesni tijek razvoja kočnica. Prikazane su dvije osnovne vrste kočnica te njihove podvrste. Važan aspekt samih disk kočnica je i njihovo trošenje tijekom uporabe. U radu su navedeni osnovni mehanizmi trošenja i pokazan je značaj kompatibilnosti materijala koji se koriste za pločice i rotore diskova.

U eksperimentalnom dijelu napravljeno je ispitivanje na Shimano sustavu disk kočenja. Određena je mikrostruktura i kemijski sastav diska, te je pomoću Vickersove i Rockwellove metode izmjerena tvrdoća uzoraka. Uzorci su ispitani i na skenirajućem elektronskom mikroskopu.

Ključne riječi: disk kočnica, trošenje, ispitivanje kočnica.

## 1. UVOD

Prije više od 300 godina, francuski matematičar Jacques Ozanam predstavio je svoju ideju o kočiji, kojoj ne bi bili potrebni konji već bi se čovjek sam kretao gdje želi snagom svojih mišića. Kočija prikazana na slici 1 bila je začetak ideje o biciklu. [1]



Slika 1. Prvi bicikl [1]

Od tada pa do danas bicikl se promijenio u potpunosti, a time i svi njegovi dijelovi. U suštini je ideja ostala ista, pokretanje snagom vlastitih mišića.

Izumom bicikla kakvim ga i danas znamo započeo je i razvoj kočnica. Kočnice se mogu pronaći u svim oblicima i vrstama koje će biti prikazane kroz ovaj rad. Poseban naglasak bit će stavljen na disk kočnice bez kojih je profesionalni biciklizam nezamisliv.

## 2. RAZVOJ KOČNICA KROZ POVIJEST

Prvi bicikl izumljen je prije pojave prvih pneumatskih guma tako da je na kotaču imao glatku i čvrstu gumenu oblogu. Pritiskom ručice, kočnica nalik žlici pritiskala bi gumenu oblogu i usporavala bicikl kao što je prikazano na slici 2. [2]



Slika 2. Prva kočnica [2]

Pojavom prvih guma punjenih zrakom, došlo je do potrebe za kočnicom koja ne bi bila u dodiru sa samom gumom. Jedno od rješenja bile su tračne kočnice, ali njihov veliki nedostatak bio je što su predstavljale veliko opterećenje za okvir bicikla.

U isto vrijeme su u primjenu ušle kočnice koje funkcioniraju na način da bicikl usporava ako se pedale okreću u suprotnu stranu, tj. u natrag. Takve kočnice bi se jako zagrijavale kada je bila u pitanju vožnja nizbrdo te bi to dovelo čak i do pojave dima. Bez obzira na taj nedostatak takve kočnice se i danas koriste na dječjim biciklima s malim preinakama.

Dvadesetih i tridesetih godina dvadesetog stoljeća pojavile su se kočnice koje koče pritiskom naplatka kotača. To je bio početak razvoja kočnica koje se koriste na modernim biciklima. Prve takve kočnice koristile su plutene pločice na drvenim naplaticima, a za bicikle sa čeličnim naplaticima koristile su se čvrste gumene pločice. Kočnice na naplaticima kotača prikazane su na slici 3.



Slika 3. Kočnica na naplatku kotača [2]

Prvi trkači bicikli koristili su kočnice sa kočionim kliještima (*eng. caliper brakes*).

Brdski biciklizam, pa tako i kočnice na brdskim biciklima, doživio je veliki porast popularnosti osamdesetih godina dvadesetog stoljeća. Prvi brdski bicikl koristio je kočnice sa dvije posebno pričvršćene kočione pločice (*eng. cantilever brakes*) kao što su to kočnice prikazane na slici 4. Prve takve kočnice zahtjevale su veliku ručnu silu, ali su imale mogućnost brzog zaustavljanja.



Slika 4. Brdski bicikl [2]

Nastavak razvoja brdskog biciklizma slijedio je Shimano i proizveo U-kočnice koje su preteča današnjih V-kočnica. Pločica aluminijska u obliku slova U poboljšala je karakteristike dotadašnjih kočnica sa dvije kočione pločice. Postavljala se ispod lanaca i tamo skupljala blato i prljavštinu te ih je ubrzo Shimano zamijenio sa V-kočnicama.

Hidraulične kočnice pojavile su se još osamdesetih godina dvadesetog stoljeća, ali njihova kvaliteta tada nije prepoznata. Naime takve kočnice su zahtjevale čvršće naplatke kotača kao što su to danas na primjer naplatci od kompozita s ugljičnim vlaknima. Jedne od prvih hidrauličnih kočnica mogu se vidjeti na slici 5.



Slika 5. Hidrauličke kočnice [2]

Ideja o disk kočnicama postoji još od pedesetih godina dvadesetog stoljeća. Jedna od prvih disk kočnica bila je ona koju je izumio Schwinn Manta-Rays, ali prvu ozbiljniju seriju takvog sustava kočenja proizveo je Shimano 1970-ih. Primjer Shimanovih kočnica iz 1970. prikazan je na slici 6. Tadašnje disk kočnice bile su mnogo teže od današnjih. [2,3]



Slika 6. Primjerak iz prve serije disk kočnica [2]

### 3. KOČENJE BIKIKLA

Kočenje je izazvano povećanje sila, koje se opiru gibanju. Kočenje dovodi do smanjenja brzine gibanja ili do zaustavljanja vozila. Sila kočenja je vanjska sila, smjera suprotnog od smjera gibanja. [4]

Kočnice bicikla dijele se prema poziciji na kojoj djeluju. Razlikuju se kočnice na naplaticima kotača koje su smještene iznad kotača i pri kočenju pritišću naplatak kotača sa bočne strane (*eng. rim brakes*) te kočnice postavljene na glavini kotača (*eng. hub brakes*) [4,5]

#### 3.1. Kočnice na naplaticima kotača

Povlačenjem poluge smještene na ručkama bicikla skupljaju se čeljusti koje se sastoje od kočionih obloga i one pritišću naplatak kotača i tako usporavaju bicikl.

Većina cestovnih bicikala koristi kočnice na naplaticima kotača jer navedene kočnice imaju jednak učinak na svim veličinama kotača. Sila kočenja je manja nego kod kočnica koje djeluju na glavini i time su puno jednostavnije i manje opasne za korištenje.

Glavni nedostatak je da je potrebna velika pažnja prilikom postavljanja kočnica jer ako čeljusti nisu ravnomjerno postavljene mogu uništiti gumu i dovesti do zaključavanja kotača. [6]

Materijali korišteni za kočione pločice i oni korišteni za naplatke kotača moraju biti kompatibilni. Većina naplataka izrađena je od različitih aluminijskih legura tako da im odgovara većina pločica na tržištu. Problem je što je materijal nekih naplataka kromirani čelik i njima nikako ne odgovaraju iste pločice kao i onima od aluminijevih legura. Sa druge strane keramički prevučeni naplatci ili naplatci od kompozita na bazi ugljičnih vlakana zahtjevaju posebno određene kočione pločice. [5]

Kočnice na naplaticima dijele se na dvije osnovne skupine: kočnice sa kočionim kliještima (*eng. caliper brake*) i kočnice pričvršćene na jednom kraju (*eng. cantilever brake*)

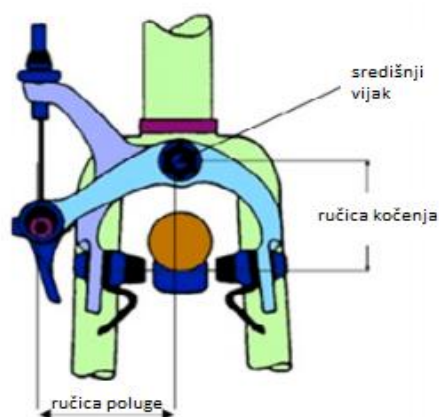


### 3.1.1. Kočnice sa kočionim kliještima

Kočnice sa kočionim kliještima su nezavisan samostalan mehanizam pričvršćen na okvir bicikla sa po jednim vijkom za prednje i za stražnje kočnice.

Ručice kočnica protežu se iznad kotača, prema dolje, i moraju biti dovoljno dugačke da obavijaju gumu. Postoji više modifikacija takvih kočnica. [7,8]

Najčešće korištene kočnice kod cestovnih bicikala, prikazane na slici 7, su upravo kočnice koje djeluju oko jedne glavne osovine (*eng. single pivot side-pull caliper brake*).



Slika 7. Kočnice koje djeluju oko jedne osovine [7]

Kod ovog sustava kočenja se obje ručice kočnica okreću oko središnje postavljenog vijka koji spaja kočnicu sa okvirom ili vilicom bicikla. Glavno čelično uže, koje se sastoji od spletene žice, povezano je sa jednom ručicom koja onda preko unutarnjeg čeličnog užeta djeluje na drugu ručicu.

Druga verzija kočnica sa kočionim kliještima su kočnice sa dvije osovine (*eng. dual-pivot side pulls*) koja koristi asimetričan mehanizam. Glavna razlika je u tome što se jedna ručica okreće oko centralnog vijka dok se druga okreće oko osovine iznad kotača. Kočione ručice moraju se jednako kretati u suprotnim smjerovima. Glavna prednost je u tome što ručica sa odmaknutom osovinom ima mogućnost kočenja čak i kada se potroši jer je omogućeno njeno veće približavanje gumi preko osovine.

Za razliku od kočnica sa dvije osovine, kod *Centerpulls* kočnica ručice se kreću oko dvije osovine sa svake strane kotača i time omogućavaju da obje ručice imaju mogućnost približavanja kotaču kako se troše. [9]

### 3.1.2. Kočnice sa dvije posebno pričvršćene kočione ručice

Ovoj skupini pripadaju kočnice sa dvije odvojene kočione ručice sa kočionom papučicom (*eng. brake shoe*) i čeličnim užetom pričvršćenim za osovinu. Svaka osovina je individualno postavljena na vilicu ili okvir, odvojeno sa svake strane. [9]

Kočione ručice međusobno su povezane poprečnim čeličnim užetom koje se proteže iznad kotača. Poprečno čelično uže povezano je s glavnim čeličnim užetom.

Ove kočnice zahtjevaju posebnu lemljenu instalaciju na biciklu tako da se ne mogu koristiti na biciklima koji nisu njima namijenjeni.

Na slici 8. je vidljiva najpoznatija vrsta kočnica sa dvije posebno pričvršćene kočione ručice, kočnice sa direktnim povlačenjem (*eng. Direct pull cantilever brake*). Poznate su pod nazivom i V-kočnice.



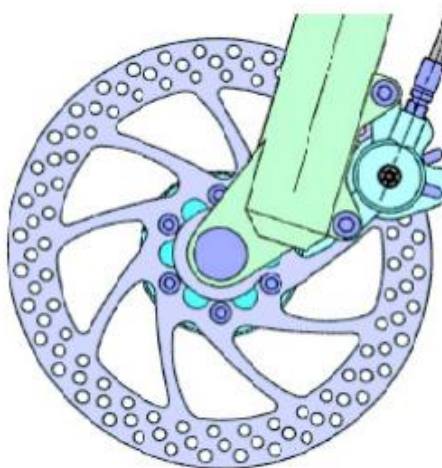
Slika 8. V-kočnice [7]

V-kočnice su pozicionirane na dva vijka s maticom koja su fiksirana na okvir ili vilicu bicikla lijevo i desno od kotača. Bitna preinaka kod ovih kočnica je da ne koriste posebno poprečno čelično uže. Jedna ručica povezana je sa čeličnim užetom, i preko unutarnje žice, horizontalno, s drugom ručicom. Sastoje se od dvije visoke ručice. Na jednoj je smješten sidreni vijak (*eng. anchor bolt*), a na drugoj priključak za čelično uže (*eng. housing stop*). Kada se primjeni sila kočenja, glavno čelično uže pokreće jednu ručicu dok unutarnja žica pokreće drugu. Kada se kočnica popusti, kočione papučice trebale bi se u istom iznosu odmaknuti od čeljusti. Ako se to ne dogodi, znači da one nisu dobro centrirane. [9]

### 3.2. Kočnice postavljene na glavini ili disk kočnice

Kočnice postavljene na glavini bitno se razlikuju od običnih kočnica po mjestu ugradnje. One ne djeluju iznad kotača pritišćući naplatke kotača, već se postavljaju na glavinama kotača. [7]

Glavni predstavnik ovih kočnica su disk kočnice prikazane na slici 9.



Slika 9. Disk kočnica [7]

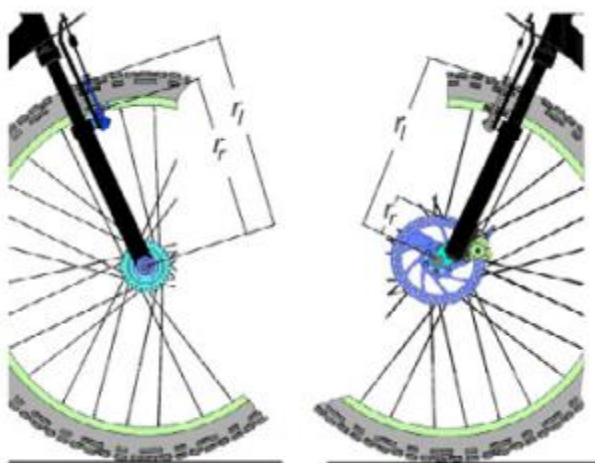
To je sustav kočenja koji se sastoji od metalnog diska, pričvršćenog s lijeve strane kotača, i obloge. Disk kočnice mogu biti postavljene samo na bicikle namijenjene njima ili na one bicikle na kojima su izvršene veće promjene na okviru. [4]

Jedna od prednosti gore navedenog sustava kočenja je u neosjetljivosti na vremenske uvjete, što je posebno važno kod brdskih bicikala koji moraju održati dobre performanse i na snijegu. Jednako tako sustav nije osjetljiv na promjene debljih i tanjih guma na istom okviru. Nakon što se kočnice pravilno postave, nije potrebno zahtjevnije održavanje. Za razliku od na primjer V-kočnica, diskovi ne troše bočne strane naplatka kotača i time im produljuju vijek trajanja i manja je mogućnost da dođe do blokade kotača.

Kao nedostatak disk kočnica navodi se njihova veća masa. U odnosu na običan sustav kočenja biciklu dodaju oko 150 grama po kotaču. Uz to prednje disk kočnice izrazito opterećuju kotač i mogu dovesti do deformacije vilica. [10]

Pri kočenju disk kočnicama otpušta se toplina. Ona ne može dovesti do zagrijavanja kotača, ali sami metalni diskovi se mogu toliko zagrijati da dovode i do ozlijeda pri dodiru. Prvi primjerci imali su veliki problem vezan uz zagrijavanje jer je dolazilo do otapanja ljepila na pločicama ili čak do vrenja tekućine za kočenje. Takvi problemi su doveli i do zabrane primjene diskova na cestovnim biciklima i ograničilo je njihovu uporabu samo na brdske bicikle. Proizvođač Shimano uspio je riješiti te probleme i povratiti diskove na cestovne bicikle. Ukazao je na važnost diskova pri primjeni na kompozitnim naplaticima koji se rade od ugljičnih vlakana. Naime kod takvih naplataka korištenje običnih sustava kočenja pokazuje sve svoje nedostatke i dovodi do velikog broja nesreća.

Gledajući mehaničke karakteristike disk kočnice se od ostalih razlikuju i u svom polumjeru djelovanja (*eng. Acting radius*) kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Radijusi djelovanja [7]

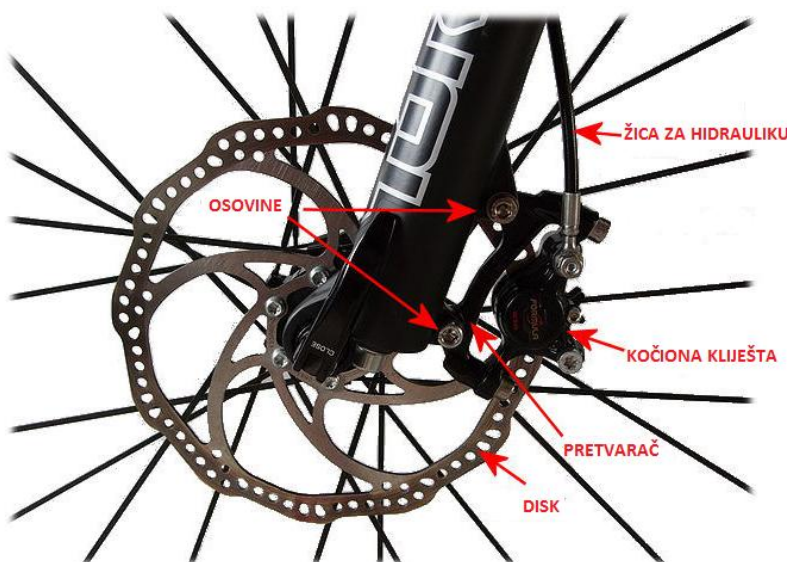
Polumjer djelovanja bitan je za moment kočenja (*eng. Brake torque*), tj. što je manji radijus, potrebna je veća sila trenja koja stvara moment kočenja. Moment kočenja zatim usporava vozača. Uspoređujući obične i disk kočnice kako bi se dobila ista sila kočenja, sila trenja koja se stvara između diska i kočionih pločica je 3.5 puta veća nego između kočionih pločica i naplatka kotača. [7]

Zbog tih mehaničkih karakteristika puno je bolja kontrola bicikla i njegovo ponašanje pri kočenju kod disk kočnica nego kod ostalih kočnica koje se pričvršćuju iznad kotača. Dimenzije rotora diskova mogu biti različite. Standardni promjer diska je 160 milimetara za cestovne bicikle, dok se za brdske bicikle koriste veći promjeri od 180 i 203 milimetara.

Glavni nedostatak rotora većih promjera je u izvijanju. Naime ako dođe do izvijanja dolazi do dodira diskova i kočionih obloga. Disk kočnice imaju period uhodavanja (*eng. Burn in*) prilikom svake promjene rotora diska ili kočionih pločica. Tijekom perioda uhodavanja sila kočenja se postepeno povećava što znači da treba proći određeno vrijeme do optimalnog djelovanja sustava kočenja.

### 3.2.1. Vrste disk kočnica

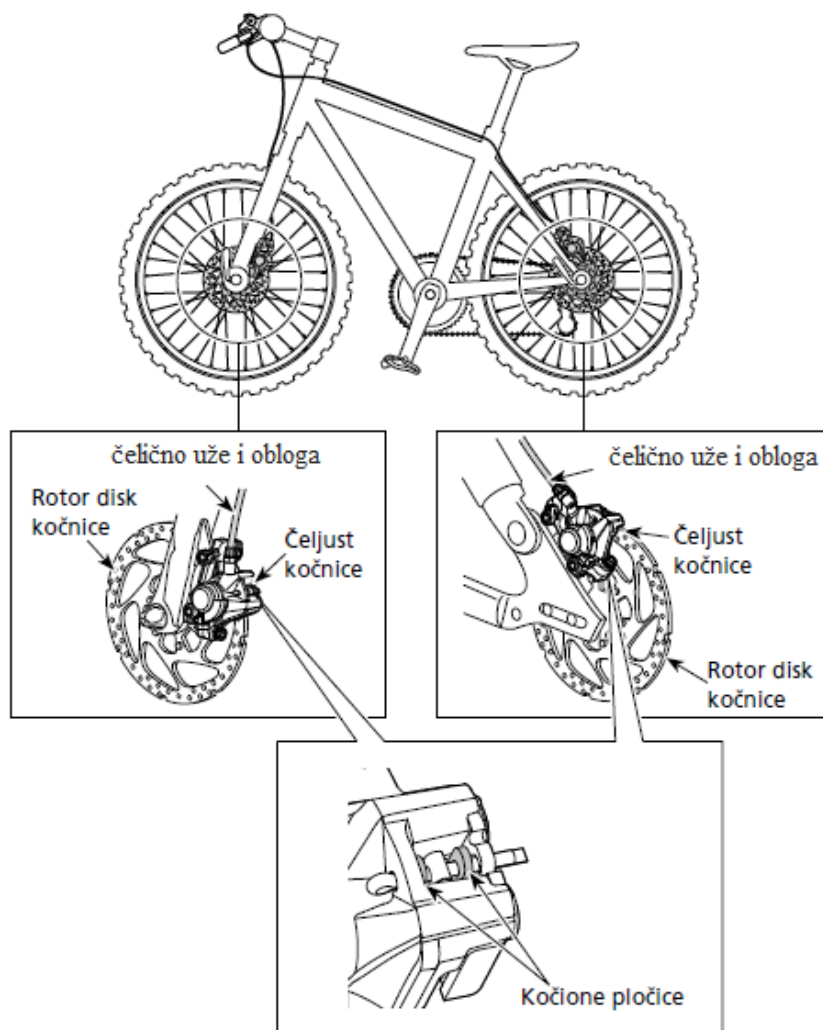
Disk kočnice se dijele na hidrauličke i mehaničke disk kočnice. Hidraulički sustavi prikazani na slici 11. mogu biti otvoreni i zatvoreni. [4,10]



Slika 11. Dijelovi sustava hidrauličkih disk kočnica [10]

Otvoreni sustavi pokazali su se kao bolji, i češće se koriste. Sastoje se od glavnog cilindra sa spojenim rezervoarom. Također imaju provrt koji omogućuje protjecanje tekućine u sustav iz rezervoara ako dođe do trošenja kočionih pločica i isto tako istjecanje tekućine ako dođe do prevelikog zagrijavanja prilikom kočenja.

Zatvoreni sustavi nemaju rezervoar i temelje se na niskom koeficijentu širenja tekućine. Za kočenje se koriste tekućine za kočenje ili mineralna ulja koja imaju puno manje korozivno djelovanje. Većina hidrauličkih kočnica ima pokretni klip s obje strane diskova koji stvara hidraulički tlak. Kočiona kliješta u kojima se nalaze klipovi moraju biti centrirana na disku. Glavna prednost hidrauličkih kočnica je mnogo manje trenje u odnosu na sve ostale sustave kočenja. [11]



Slika 12. Dijelovi sustava mehaničkih disk kočnica [12]

Mehanički sustavi na slici 12. većinom se sastoje od pokretnog klipa i čeljusti kočnice ili pokretnog klipa koji savija tanak disk u centriranu pločicu za koćenje koja se nalazi sa druge strane diska. Obloga štiti splet metalnih žica od blata i prljavštine, ali predstavlja i termalnu zaštitu za žice. [11,12]

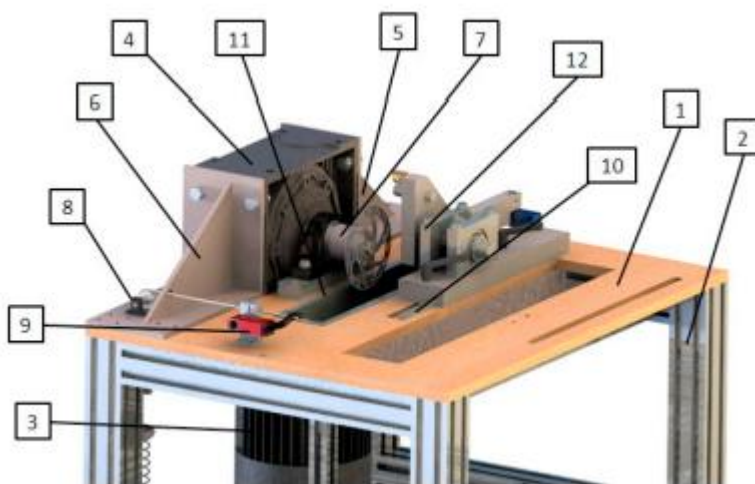
Mehaničke disk kočnice rade na sličnom principu kao i obične kočnice na naplatcima kotača. Standardna poluga povlači čelično uže koje se sastoji od spleta žica i time čeljust kočnice u kojoj se nalaze koćione ploćice. Koćione ploćice zatim pritišću rotor diska i dovode do koćenja. Kod mehaničkih sustava bitno je dobro podmazivanje i održavanje zbog smanjenja mehaničkih gubitaka.

#### 4. ISPITIVANJE KOČNICA

Mogućnost ispitivanja i uspoređivanja svojstava sustava kočenja vrlo je važna za bolje razumijevanje i razvitak kočnica još boljih mehaničkih svojstava. Problem kod dosadašnjih takvih ispitivanja bio je u tome što su izvođena na terenu u nepredvidljivim uvjetima. Većina rezultata previše je ovisila o subjektivnim stavovima vozača.

Na Sveučilištu primjenjenih tehničkih znanosti u Beču konstruiran je uređaj koji omogućuje ispitivanje obje glavne vrste kočenja. Taj uređaj predstavlja veliki presedan jer je po prvi put moguće objektivno analizirati ponašanje kočnica tijekom ciklusa kočenja pri suhim i mokrim uvjetima. Posebna pažnja bila je usmjerena na mogućnost serijskih ispitivanja koja bi zahtjevala što manje mehaničkih promjena. [7]

Za dimenzioniranje bilo je potrebno izračunati teoretski moment kočenja, izmjeriti akceleraciju pomoću senzora, potrebnu ručnu silu kako bi došlo do kočenja, i brzinu reagiranja poluge kočenja. Ispitivački stol prikazan je na slici 13.



Slika 13. Dijelovi ispitivačkog stola [7]



Dijelovi ispitivačkog stola su:

1. osnovna ploča, 2. sustav profila, 3. trofazni motor, 4. ležaj, 5. konstrukcija za montažu motora, 6. konstrukcija za montažu motora, 7. glavina sa postavljenim diskom, 8. mjenjač za smjer spleta žica, 9. poluga za kočenje, 10. ključ, 11. rezervoar za vodu, 12. poluzna ručica

Ručna sila postignuta je pneumatski. Kako bi se kontrolirao proces podizanja poluge točno definiranom silom, pneumatski ventil spojen je s uređajem za mjerenje sile.

Kod ispitivanja disk kočnica, motor vrti disk konstantnom brzinom. Kočiona kliješta su pričvršćena na dva okrugla čelična profila koja se ponašaju kao poveznica za brzo spajanje kočionih kliješta sa improviziranom ručicom poluge. Ručica poluge omogućuje mjerenje momenta kočenja. Poluga se nalazi na nosaču čiji je zadatak spriječiti rotaciju ručice poluge. Tada se izračunava sila kočenja, a time i moment kočenja.

Histereza kočenja je pokazala kako je tako dobivena sila kočenja u direktnoj vezi sa potrebnom silom koju ljudska ruka mora primjeniti kod kočenja. Po potrebi se mogu promijeniti i na uređaj staviti ili diskovi ili kočiona kliješta. Sustav daje informacije o histerezi kočenja, a to je funkcija koja povezuje izmjerenu silu kočenja i potrebnu silu ruke koja se treba primjeniti za određenu silu kočenja. [7]

## 5. TRIBOLOŠKO TROŠENJE DISK KOČNICA

Tribologija je znanstveno-stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja i trošenja. Trošenje je neželjeni gubitak materijala uslijed dinamičkog dodira s drugim krutim tijelom, fluidom i/ili česticom.

Postoje četiri osnovna mehanizma trošenja, a to su: abrazija, adhezija, umor površine i tribokorozija. Njih se opisuje jediničnim događajima, tj. slijedom zbivanja koji dovodi do odvajanja jedne čestice trošenja s trošene površine. [13]

### 5.1. Mehanizmi trošenja disk kočnica

Kod sustava kočenja s disk kočnicama dolazi do trenja između rotora diska i kočionih pločica.

Osnovni mehanizmi trošenja koji se javljaju su:

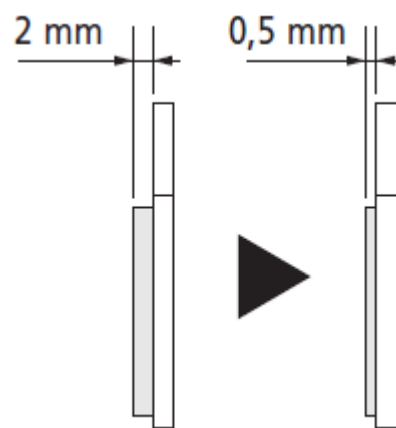
- 1) Abrazija koja se definira kao trošenje istiskivanjem materijala izazvano tvrdim česticama. Do ovog mehanizma trošenja dolazi kada na primjer tvrde čestice blata dođu u dodir sa kočionim pločicama. Te čestice djeluju abrazivno na pločice i dovode do trošenja.
- 2) Adhezija je trošenje materijala koje karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza. Adhezijsko trošenje događa se kada se pločice ne zamijene na vrijeme te se koriste i nakon što se potrošio sloj smole. Dolazi do tribološkog para metal-metal i time do lijepljenja metala pločice na metal diska. [13]

Udaljenost između diska i pločice je vrlo mala i česta je pojava grebanja pločice i diska čak i kada ne dolazi do kočenja. Tada je potrebno zamijeniti ili disk ili pločice jer oni ne smiju biti u stalnom dodiru kako bi rotor diska djelovao ravno.

Vrlo je važno da se to trošenje na vrijeme uoči jer u suprotnom može doći do ozbiljnih ozlijeđa. Čitav sustav osmišljen je tako da kada do dođe do istrošenosti kočionih pločica, automatski se kočioni klipovi postepeno istiskivaju uz zadržavanje jednakih zazora između kočionih pločica i

rotora disk kočnice. Nakon što se pločice zamijene kočioni klipovi moraju se staviti u početni položaj.

U većini slučajeva najčešće se potroše pločice. Njihova debljina iznosi dva milimetra, a većina proizvođača propisuje da ih je potrebno zamijeniti ukoliko ta debljina padne ispod pola milimetra kao što je prikazano na slici 14. Literatura [5,11] nalaže da se kočione pločice zamijene u prosjeku nakon prijeđenih 2000 do 3000 kilometara.



Slika 14. Trošenje pločica [12]

Nužno je da se pločice zamijene prije nego što se potroše do metalne osnove, jer tribološki par u tom slučaju metalna pločica- metalni disk bio bi poguban za sam disk. Proces zamjene pločica prikazan je na slici 15. [5]



Slika 15. Zamjena pločica [5]

Kočione pločice se sastoje od metalne osnove i sloja debljine 3 do 4 milimetara. Sloj čini materijal velike otpornosti na trošenje i može biti ili polimerna smola ili metal. Slojevi od smole stvaraju manje buke nego kada se koriste pločice s metalnim slojem. Još jedna njihova prednost je što su prilagođeni i za suhe i za vlažne uvjete. [5]

Veliki problem kod trošenja pločica je u blatnim uvjetima. Kao što je već navedeno abrazivne čestice blata mogu ubrzati proces trošenja gornjeg sloja pločice. Jednako kao što je minimalna debljina propisana za kočione obloge, propisana je i debljina od minimalno 1,5 milimetra za rotore diskova. Diskovi se troše u manjoj mjeri, ali kod njih ne smije doći do nikakvih površinskih nesavršenosti jer je potrebna hitna zamjena.

U eksperimentalnom dijelu ispitat će se mikrostruktura i kemijski sastav komponenata disk kočnica. Bit će izmjerena njihova tvrdoća i provedena analiza skenirajućim elektronskim mikroskopom.

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

Tema ovog rada je tribološko trošenje disk kočnica na biciklu. Eksperimentalni dio sastoji se od ispitivanja komponenata koji čine sustav kočenja, tj. od ispitivanja diska i pločice proizvođača Shimano. Kao što je već navedeno diskovi i pločice nalaze se u kontaktu prilikom kočenja i time dolazi do njihovog trošenja.

Ispitivanja se sastoje od određivanja kemijskog sastava i mikrostrukture. Mikrostruktura je promatrana na svjetlosnom mikroskopu OLYMPUS GX51. Na poliranim uzorcima mjerena je tvrdoća diska Vickersovom metodom, a tvrdoća pločice Rockwellovom metodom. Zatim su uzorci ispitani skenirajućim elektronskim mikroskopom TESCAN Vega 5136mm.

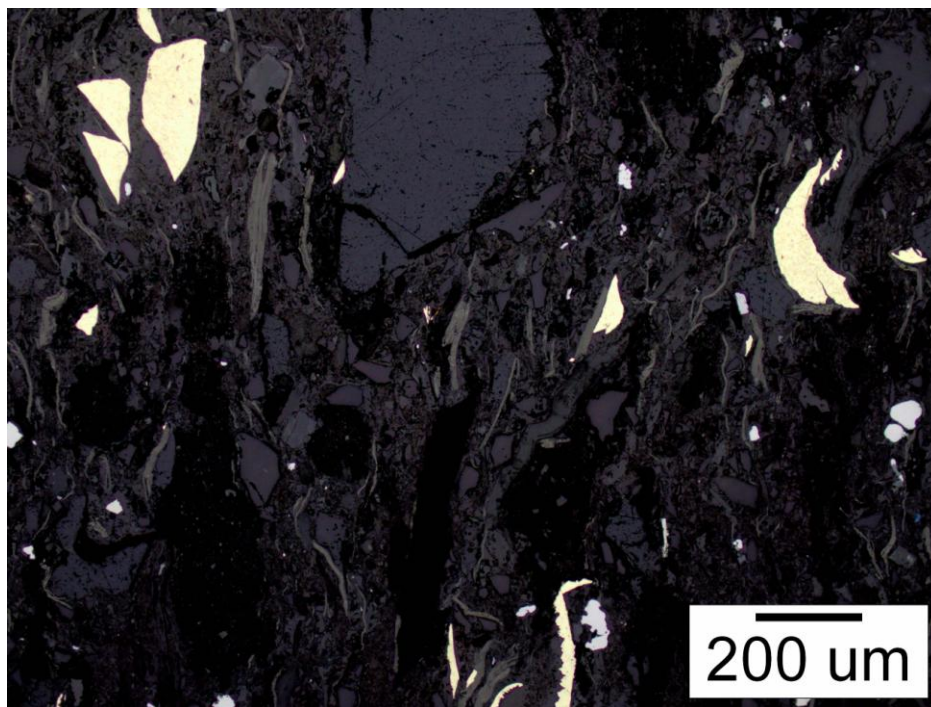
### 6.1. Kemijski sastav i mikrostruktura

Kemijski sastav rotora diska utvrđen je na optičkom emisijskom spektrometru GDS 850, Leco i dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav uzorka diska

| oznaka<br>uzorka | %    |      |      |       |       |       |      |      |      |         |
|------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|---------|
|                  | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni   | Mo   | Cu   | Fe      |
| x                | 0,25 | 0,35 | 0,32 | 0,014 | 0,013 | 12,39 | 0,09 | 0,06 | 0,11 | ostatak |

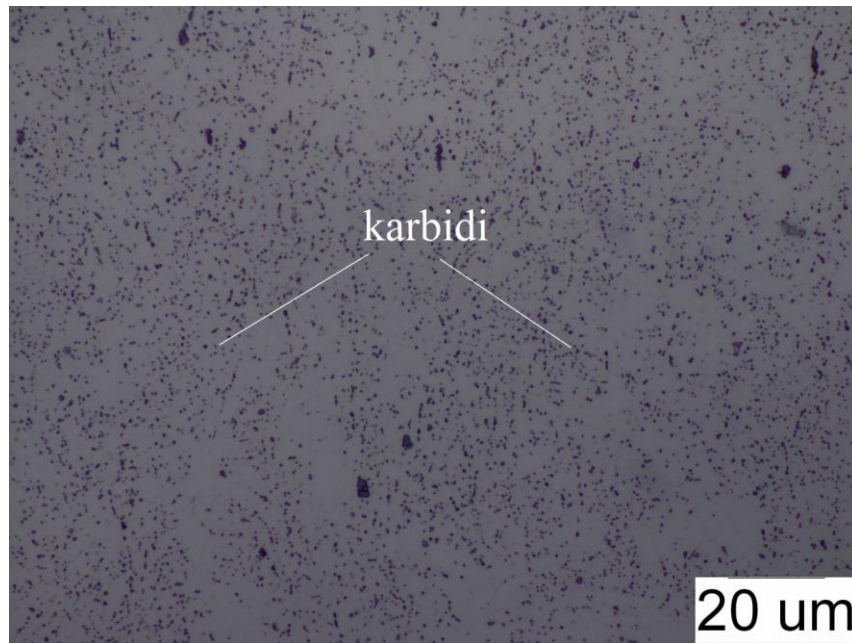
Riječ je o martenzitnom nehrđajućem čeliku X20Cr13.



Slika 16. Površina pločice u poliranom stanju

Na slici 16. koja prikazuje površinu pločice bilo je potrebno provesti EDS analizu kako bi se utvrdio točan mikro-kemijski promatranih područja uzorka.

Rotor diska elektrolitički je nagrižen u 10% oksalnoj kiselini (etan-dikarboksilna kiselina,  $\text{HOOC-COOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) kako bi se vidjela njegova mikrostruktura. Nagrizanje je trajalo 30 sekundi nakon čega je uzorak uzorak ispiran vodom i alkoholom. Nakon nagrizanja uzorak je promatran svjetlosnim mikroskopom OLYMPUS GX51.



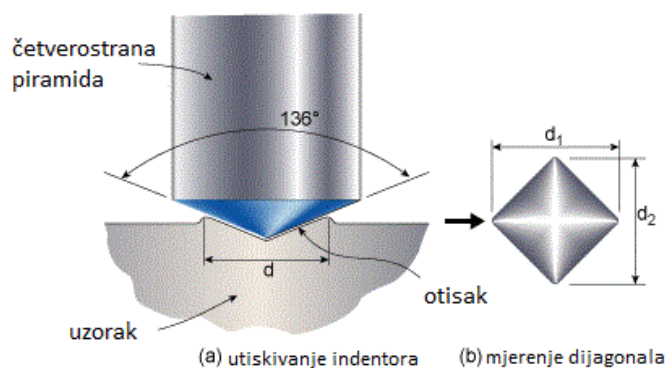
Slika 17. Mikrostruktura diska u nagriženom stanju, povećanje 1000X

Na slici 17. prikazana je mikrostruktura uzorka diska koja se sastoji od matrice visokotemperaturno popuštenog martenzita i čestica karbida (primarni i karbidi popuštanja).

## 6.2. Ispitivanje tvrdoće

### 6.2.1. Vickersova metoda

Tvrdoća materijala je otpornost materijala prema prodiranju drugog, tvrdog materijala. Na uzorku rotora diska tvrdoća je mjerena metodom po Vickersu, kao što je prikazano na slici 18. Indentor je četverostrana dijamantna piramida s kutem od  $136^\circ$  između stranica. [15]



Slika 18. Vickersova metoda [16]

Uzorak je opterećen utegom mase 200 grama. Mjerenje je ponovljeno pet puta kako je prikazano u tablici 3.

Tablica 2. Rezultati mjerenja tvrdoće diska

| Broj mjerenja | Tvrdoća HV0,2 |
|---------------|---------------|
| 1             | 325           |
| 2             | 319           |
| 3             | 349           |
| 4             | 391           |
| 5             | 325           |

Srednja vrijednost tvrdoće diska je 342HV0,2 .

Prema kemijskom sastavu i izmjerenoj tvrdoći uzorak je popušteni martenzit.

### 6.2.2. Rockwellova metoda

Na uzorku pločice bilo je potrebno provesti ispitivanje tvrdoće Rockwellovom metodom. Kod Rockwellove metode ne mjeri se veličina otiska, već dubina penetriranja penetratora. Penetratori su ili dijamantni stožac ili kuglica od kaljenog čelika. [15]

Ispitivanje je provedeno na uređaju Automatic Rockwell Hardness Testeru, proizvođača Insize. Tip uređaja je ISH – MR 150 – P.



Provedeno je pet mjerenja i rezultati su prikazani u tablici

Tablica 3. Rezultati mjerenja tvrdoće pločice

| Broj mjerenja | Tvrdoća po Rockwellu |
|---------------|----------------------|
| 1             | 31                   |
| 2             | 30                   |
| 3             | 31                   |
| 4             | 31                   |
| 5             | 30                   |

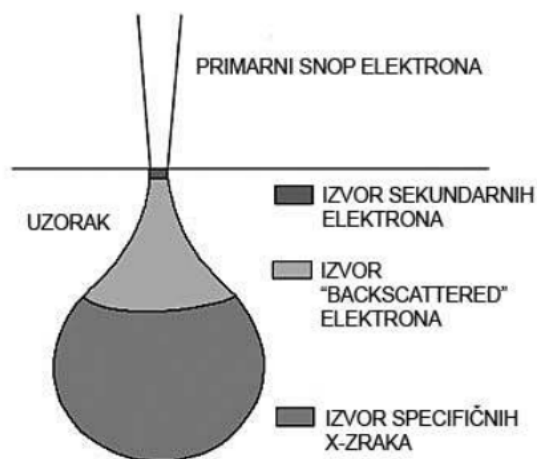
Srednja vrijednost tvrdoće pločice iznosi 31HRC.

### 6.3. Ispitivanje skenirajućim elektronskim mikroskopom

Skenirajući elektronski mikroskop zajedno sa transmisijskim elektronskim mikroskopom pripada skupini elektronskih mikroskopa. Osnovna razlika od optičkih mikroskopa je u tome što se umjesto svjetlosnih zraka primjenjuje snop elektrona te umjesto sustava leća koristi sustav elektromagneta. [17]

Osnovni princip rada skenirajućeg elektronskog mikroskopa je u skeniranju površine ispitivanog uzorka precizno fokusiranim snopom elektrona koji pobuđuje elektrone u sastavu atoma uzorka.

Specijalni detektori skupljaju energije izbačenih elektrona iz uzorka te se uz pomoć mikroprocesora stvara trodimenzionalna slika. Razlikuju se sekundarni elektroni i elektroni povratnog raspršenja (*eng. Back Scatter Electron*) kao što se vidi na slici 19.



Slika 19. Izvori signala iz uzorka [18]

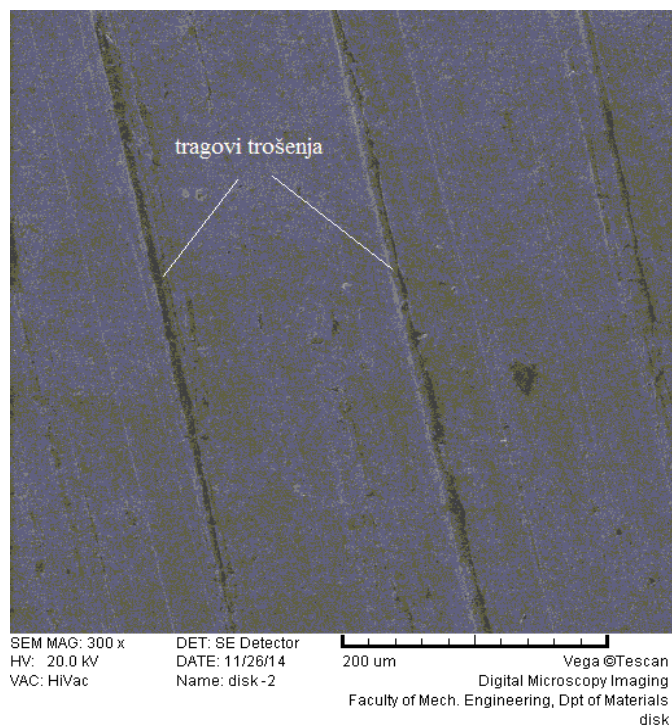
Sekundarni elektroni su elektroni atoma izbačeni uslijed interakcije s primarnim elektronima iz snopa. Zbog svoje male energije oni mogu iskočiti samo iz plitkog dijela površine uzorka, ali daju najbolju rezoluciju slike. Elektroni povratnog raspršenja su posljedica sudara elektrona iz snopa sa atomskom jezgrom atoma iz uzorka. Njihova visoka energija loše utječe na rezoluciju, ali slike dobivene elektronima povratnog raspršenja mogu biti vrlo bitne za informacije o sastavu uzorka.

Ukoliko dođe do izbijanja elektrona iz elektronskog omotača, prazno mjesto zauzima elektron iz druge elektronske ljuske više energije. Uslijed skoka elektrona ispušta se jedan kvant energije ili X-zraka. Energija emitiranog fotona X-zrake razlikuje se za svaki pobuđeni atom te se na temelju zračenja može zaključiti o kojem se kemijskom element radi. Ovakvo zračenje prikuplja spektrometar X-zraka EDS (*eng. Energy Dispersive Spectrometry*). [18]

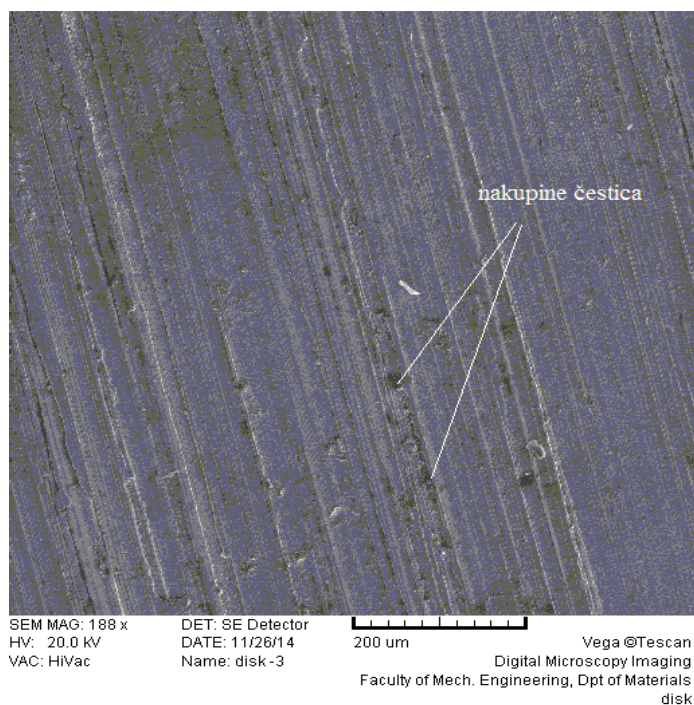
Glavna prednost SEM-a u odnosu na ostale mikroskope je rezolucija, dubina polja i mikroanaliza, tj. sposobnost analize sastava uzorka.

SEM ima povećanje do 100 000X, a rezolucija mu iznosi 0,015  $\mu\text{m}$ .

Površina diska snimljena SEM-om prikazana je na slikama 20. i 21.



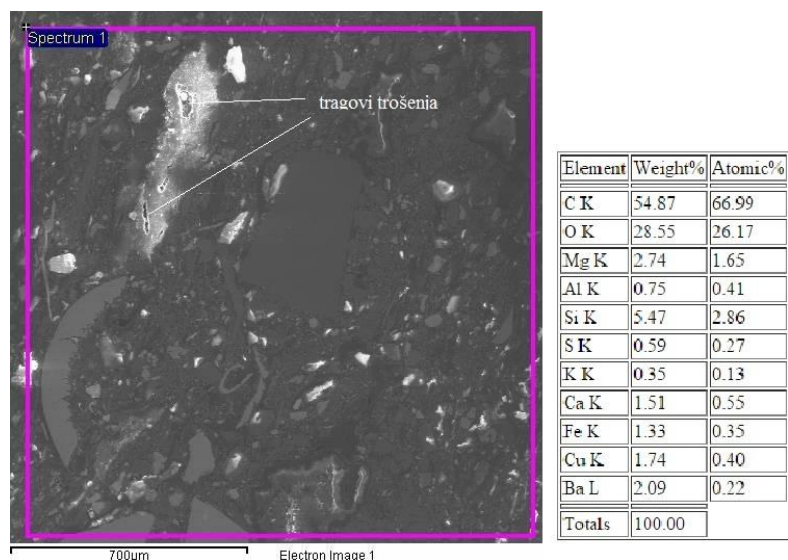
Slika 20. Površina diska snimljena na SEM-u



Slika 21. Površina diska sa prikazanim nakupinama čestica

Površine diska na slikama snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom pokazale su tragove trošenja. Poprečne brazde na slici 20. i 21. pokazatelj su abrazijskog mehanizma trošenja. Male nakupine čestica na slici 21. upućuju da je došlo i do adhezijskog mehanizma trošenja jer su čestice spontano navarene na površinu. Prilikom kontakta diska i pločice došlo je do naljepljivanja dijelova pločice na materijal diska.

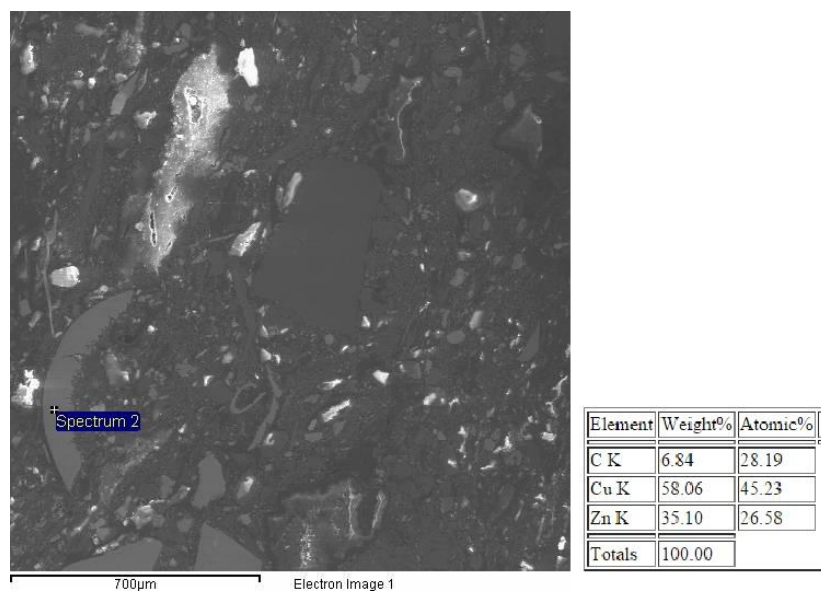
EDS analiza provedena je na pločici kako bi se utvrdilo od kojeg je materijala izrađena. Ispitivanje je provedeno na pet različitih pozicija na uzorku.



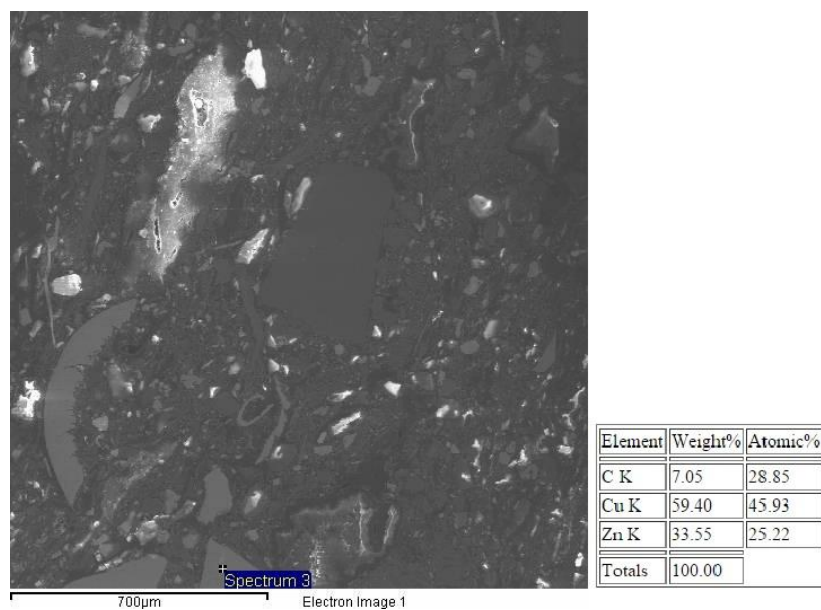
Slika 22. Površina pločice snimljena na SEM-u s prikazanim tragovima trošenja (spektar 1)

Kao što se vidi na slici 22. došlo je do selektivne abrazije prilikom kontakta diska i kočnice. Čestice pločice su se odvojile od površine i strugale po površini diska.

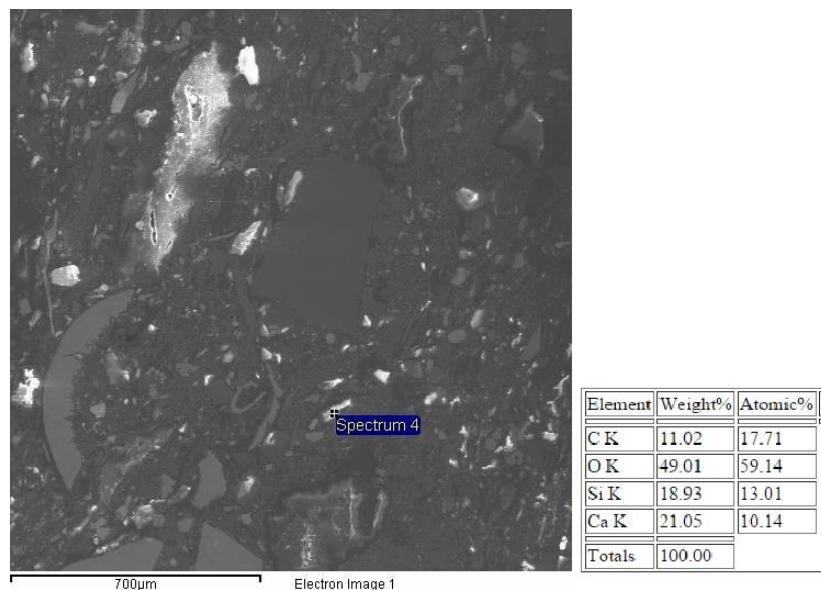
U nastavku na slikama prikazani su kemijski sastavi ostalih karakterističnih područja na površini.



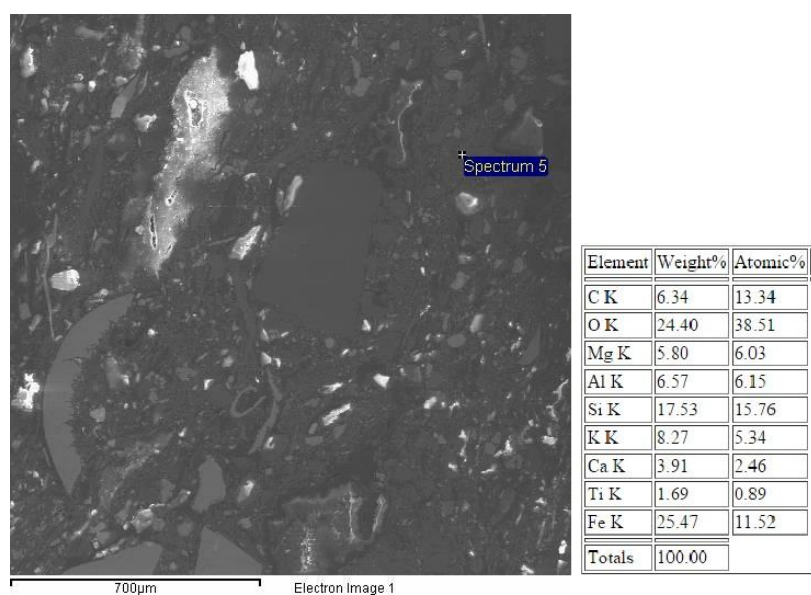
Slika 23. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 2)



Slika 24. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 3)



Slika 25. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 4)



Slika 26. Prikaz površine i EDS analiza (spektar 5)

EDS analiza pločice pokazuje kako se radi o sinteriranom kompozitnom materijalu koji čine najvećim udjelom magnezij, aluminij, silicij, željezo, bakar i cink.

## 7. ZAKLJUČAK

U radu disk kočnica često dolazi do trošenja pojedinih komponenata. Vožnja bicikla i kočenje predstavlja veliko opterećenje za same dijelove i materijale korištene za iste. U različitim specifikacijama proizvođača redovito se nalaze naputci o učestalosti mijenjanja dijelova, savjetima za održavanje i slično. Nažalost naputci se često razlikuju i potrebno je razlučiti kako dobiti optimalnu iskoristivost disk kočnica.

Kompatibilnost materijala korištenih za rotor diska i pločicu je na prvom mjestu. Nisu dozvoljeni kompromisi jer oni dovode do brzog dotrajanja dijelova.

U ovom radu ispitan je tribo par disk-pločica. Nakon provedenih ispitivanja dobiveni su sljedeći zaključci:

- Dominantni mehanizmi trošenja na tribo paru disk-pločica su abrazija i adhezija.
- Pločica je tvrdoće 31HRC, a disk 342HV0,2.
- Materijal diska je popušteni nehrđajući martenzitni čelik oznake X20Cr13, a pločica je kompozitni materijal.



## 8. LITERATURA

- [1.] D.V. Herlihy; Bicycle: the history; Yale University Press; USA; 2014.
- [2.] <http://classiccycleus.com/home/thats-the-brakes/> ; 20.06.2015.
- [3.] J. Pridmore, J. Hurd; Schwinn Bicycles; MBI Publishing Company; 2001.
- [4.] F. R. Whitt, D.G. Wilson; Bicycling Science; Cambridge; 1995.
- [5.] T. Downs; Bicycling-illustrated bicycle maintenance for road and mountain bikes; Rodale Press; 2010.
- [6.] <http://www.sheldonbrown.com/rim-brakes.html> ; 20.06.2015
- [7.] C. Oertel, H. Neuburger, A. Sabo; Construction of a test bench for bicycle rim and disc brakes; Elsevier; 2010.
- [8.] <http://www.sheldonbrown.com/calipers.html>; 21.06.2015.
- [9.] <http://www.sheldonbrown.com/cantilever-adjustment.html>; 21.06.2015
- [10.] <http://www.sheldonbrown.com/disc-brakes.html>; 22.06.2015
- [11.] E.R. Burke; High-tech cycling; USA; 2003.
- [12.] [http://www.dropbike.com/wp-content/gallery/korisni\\_tekstovi/SHIMANO-Prirucnik-za-uporabu-Opce-Upute.pdf](http://www.dropbike.com/wp-content/gallery/korisni_tekstovi/SHIMANO-Prirucnik-za-uporabu-Opce-Upute.pdf); 22.06.2015.
- [13.] K.Grilec, V. Ivušić; Tribologija; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2011.
- [14.] T.Filetin, F. Kovačiček, J. Indof; Svojstva i primjena materijala; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2006.
- [15.] M. Franz; Mehanička svojstva materijala; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb; 2005.

- [16.] <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/hardness-testing-part-1-074/> ; 15.07.2015.
- [17.] [http://www.pmf.unsa.ba/fizika/images/nastavni\\_materijali/EMUMF/predavanja/SEM.pdf](http://www.pmf.unsa.ba/fizika/images/nastavni_materijali/EMUMF/predavanja/SEM.pdf); 03.07.2015.
- [18.] G. Mršić, S.Žugaj; Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX); Zagreb; 2006.